

主ひずみ分離型の光弾塑性実験法に関する研究

著者	島本 聡
号	700
発行年	1983
URL	http://hdl.handle.net/10097/11649

氏 名	島 本 聡
授 与 学 位	工 学 博 士
学 位 授 与 年 月 日	昭 和 59 年 2 月 8 日
学 位 授 与 の 根 拠 法 規	学 位 規 則 第 5 条 第 2 項
最 終 学 歴	昭 和 46 年 3 月 東海大学大学院工学研究科機械工学専攻修士課程修了
学 位 論 文 題 目	主ひずみ分離型の光弾塑性実験法に関する研究
論 文 審 査 委 員	東北大学教授 阿部 博之 東北大学教授 渥美 光 東北大学教授 島田 平八

論 文 内 容 要 旨

第 1 章 緒 論

弾塑性問題の解析は最近めざましい発展をとげて来たが、実験的解析についていえばまつべき問題が多々残されている。

弾性域から塑性域に亘る広い範囲での等色線しま次数とひずみとの厳密な関係、特に二軸応力場におけるしま次数－ひずみについては全く調べられておらず、またモデル材料としての金属との対応など、その応力－ひずみ関係の相似性に関する検討ならびに Ramberg－Osgood の式における材料定数の決定やその式の適用については、ほとんど明確にされていない。その意味でポリカーボネイトなどの材料が真に光塑性用材料として適合性があるか否かについてかならずしも明確に言及することはできなかった。

本研究はこのような観点から、光弾塑性用材料として従来から考えられている高分子材料の広範囲にわたるしま次数とひずみの関係すなわちその光塑性効果について再検討が必要であり、これまで弾性域を越え弾塑性域、さらに塑性域まで拡張した広い範囲に適用できる光塑性材料としての、セルロイド、ポリカーボネイトなどの材料を含めた高分子材料の単軸ならびに二軸応力場でのしま次数とひずみの関係について厳密な実験を行い、機械的、光学的特性の詳細について考察を行った結果、弾塑性問題の解析に適用出来る光弾塑性用材料としてポリカーボネイトが最適であることならびにポリカーボネイトの光塑性効果を明らかにした。さらに複雑な応力場における塑性域の主ひ

ずみの値を分離して求める方法を開発した。それを用いて二軸応力場における解析を行ったものである。

第 2 章 光弾塑性用高分子材料についての機械的ならびに光学的性質

この章では、本研究の実験方法と従来から光弾塑性材料として使用されて来た高分子材料の一般的な機械的性質ならびに光学的特性について述べている。

まず、実際の金属材料と相似な応力－ひずみ関係を示すモデル材料としてセルロイド；セルロースアセテートおよびポリカーボネイト帯板の各種温度と引張り速度における機械的、光学的特性について述べており、特に応力－ひずみ曲線と等色線しま次数－ひずみとの関係について詳細に検討している。

つぎに、従来から金属材料の弾塑性に関する応力－ひずみ曲線の解析式として知られている Ramberg－Osgood 式への適用を試み、これら高分子材料の Ramberg－Osgood の式における材料定数 m_1 ， n の値を求めるとともに引張り試験においてはひずみ速度の変化にもかかわらず解析的表示式は $E\epsilon/\sigma_1 = \sigma/\sigma_1 + (\frac{1}{9}) \cdot (\sigma/\sigma_1)^{11}$ で示されることを明らかにした。

また、セルロイド、セルロースアセテートおよびポリカーボネイト材のポアソン比、クリープ特性ならびに板厚変化について述べている。

その中でクリープおよび回復におけるしま次数は各材料ともほぼ一定となり、時間依存性はきわめて少なく、温度変化によるクリープひずみの回復は、熱変形温度に近づくにしたがって、回復時による残留ひずみが大きく、熱変形温度と引張り強さの低い材料程時間および温度依存性の著しいことが確かめられた。また塑性変形領域での板厚変化に関しては、ほとんど無視できる事が確かめられた。

第 3 章 光弾塑性用高分子材料の塑性域における光塑性効果および主ひずみの解析

この章では、モデル光弾塑性用材料の弾性－塑性域の広い範囲にわたって、これまでの研究では不明確であった単軸ならびに二軸応力場でのしま次数とひずみの関係について光弾性法とモアレ法を併用することにより円孔およびスリット切欠きを有する帯板の局所的な等色線しま次数とひずみとの関係を初めて明らかにした。図 1 に示すように、従来のセルロイドなどの材料はしま次数－ひずみとの間の直線性が成りたたず、光弾塑性用材料としての有用性について問題があり、図 2 に示すよ

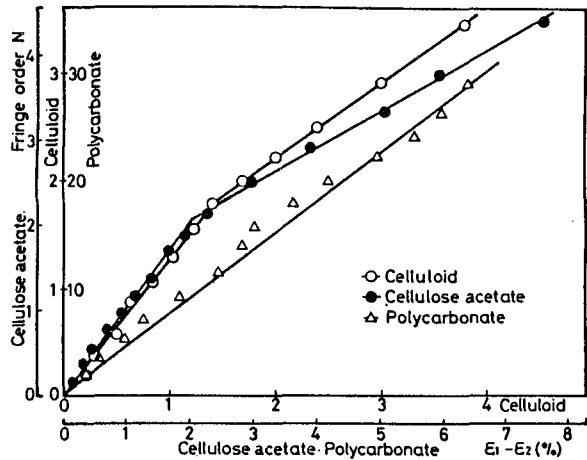


図 1. 単軸応力場におけるしま次数と主ひずみ差の関係

うにポリカーボネイトのみがしま次数一ひずみとの間の直線性を有し多軸応力下に使用可能であることが明らかになった。この関係を明らかにする過程で局所ひずみ量の検定に用いる微少格子をポリカーボネイトに刻むことは従来出来なかったが、新しく考案した溶解法を用いて可能になった。

図2に示すようにポリカーボネイトの等色線しま次数は主ひずみ差 ($\epsilon_1 - \epsilon_2$) に比例するので主ひずみ (ϵ_1, ϵ_2) を個々に求めるために、主ひずみ和に

ついては図3に示すようにマッハツェンダ干渉計で得られるしま次数と主ひずみとの関係を調べ、主ひずみ (ϵ_1, ϵ_2) 個々の値を塑性域まで独自に求める方法について述べている。

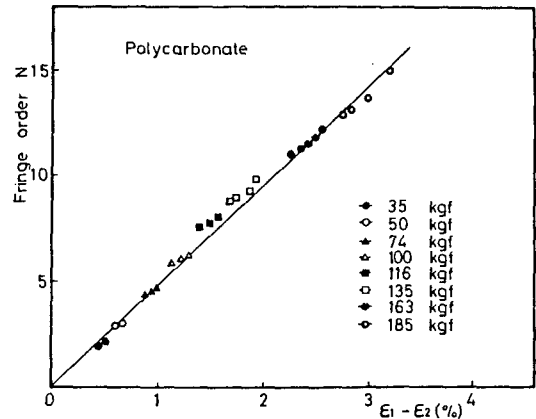


図2. 円孔切欠き部におけるしま次数と主ひずみ差の関係

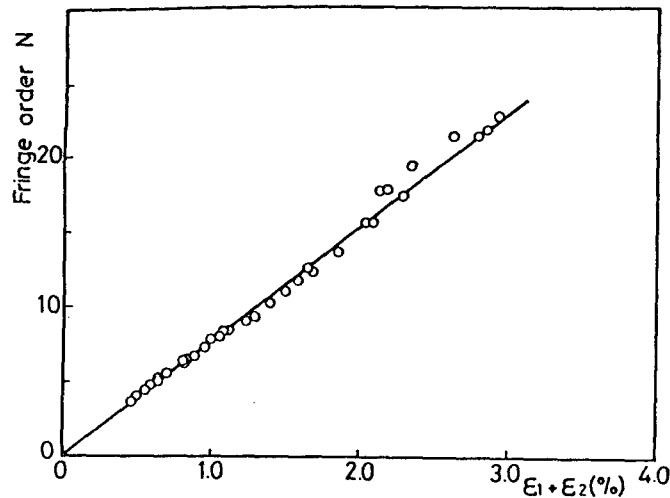


図3. スリット切欠き部における干渉しま次数と主ひずみ和の関係

第4章 円孔およびV字形切欠きを有するポリカーボネイト帯板の単軸引張りにおける弾塑性挙動と弾塑性応力集中

二軸応力場では現在光弾塑性用材料としてポリカーボネイト材が唯一のものと判明したので第4章では、この材料を用いて従来研究されてきた各種切欠き（円孔およびV字形切欠き）を有する帯板の各種引張り速度における切欠き縁の弾塑性応力集中係数 $K\sigma$ とその応力分布を調べ従来の数値計算値と実験値を比較検討した結果良好な一致が得られた。このことは本実験方法が光弾塑性解析手法として最も適切な方法であることを示している。

第 5 章 二軸応力下における塑性ひずみ集中およびき裂近傍の変形挙動

この章は、応用例としてこれまで実験的研究による塑性ひずみ解析がほとんどなされていなかった、第二軸ならびに不等二軸（応力比 $\lambda = \frac{1}{2}$ ）応力場における円孔切欠き縁の塑性ひずみ集中係数について解析を行った結果、数値計算値と実験値がほぼ一致することが確かめられた。さらに使用材料の Ramberg-Osgood 式の材料定数 n が求まれば、ひずみ集中係数 K_ϵ を実験式より求められることを明らかにした。また Caustics 法との併用により二軸応力がクラック近傍の変形状態におよぼす影響について調べた。

第 6 章 結 論

第 6 章は、本研究の総括であり、各章に記した結言を簡潔にまとめたものである。

審 査 結 果 の 要 旨

過酷な条件下で使用される機械、構造物の強度設計においては、弾性－塑性の広範囲にわたるひずみないし応力の評価が必要であり、そのための有力な手法にモデル光弾塑性実験法がある。しかし、すでに確立した弾性変形のみを対象とした光弾性実験法と異なり、光弾塑性実験法では実験用モデル材として具備すべき機械的、光学的性質についてはほとんど調べられておらず、どの材料がモデル材としての適合性を有しているかが不明確であった。

本論文はアルミニウム合金など Ramberg－Osgood 型の機械材料と相似な変形挙動を示す代表的な三種のモデル材に対して精密な実験を実施し、機械的、光学的性質について詳細な考察を行い、その中でポリカーボネイトのみが実験材料として好適であることを明らかにすると共に、複雑な応力場においても主ひずみを分離できる新しい実験法を開発したもので、全編 6 章よりなる。

第 1 章は緒論で、本研究の背景と目的を述べている。

第 2 章は上記の代表的モデル材の機械的、光学的性質について述べており、とくに応力－ひずみ曲線、等色線しま次数－ひずみの関係に対する温度と引張速度の影響、クリープ特性について詳しく検討し、モデル材選定のための貴重な資料を与えている。

第 3 章では最初に光弾塑性－モアレ併用法を工夫し、これにより弾性－塑性の広い範囲にわたりひずみの高精度計測を可能にすると共に、単軸ならびに二軸応力場においてポリカーボネイトのみが等色線しま次数と主ひずみ差の間に比例関係を有しており、モデル材として好適であることを見出している。これは有用な新知見である。この過程で従来困難とされていたポリカーボネイト板へのモアレ格子の焼付けに成功していることも特記に値する。さらに光干渉法を併用し、主ひずみの成分を分離する方法を開発している。

第 4 章では円孔や V 字形切欠きを有するポリカーボネイト板の応力分布を求めて理論解析結果と比較し良好な一致を得ており、本実験方法が応力解析法として妥当であることを検証している。

第 5 章は応用である。等二軸ならびに不等二軸荷重下における円孔縁の弾塑性ひずみ集中係数を簡便に求める方法、また Caustics 法との併用によるき裂端近傍の応力拡大係数の評価方法を具体的に示している。

第 6 章は結論である。

以上要するに、本論文は Ramberg－Osgood 型の光弾塑性モデル材の具備すべき諸性質について詳細な検討を行い、従来の代表的なモデル材のうちポリカーボネイトのみが実験用材料として好適であることを示すと共に、モアレ法、光干渉法などとの併用により弾性－塑性の広い範囲にわたって主ひずみの各成分を分離して求める簡便な方法を開発したもので、機械工学の発展に寄与するところ少なくない。

よって、本論文は工学博士の学位論文として合格と認める。